

PREPARASI PELEPAH SAWIT DENGAN ASAM OKSALAT DAN PENGARUHNYA TERHADAP SIFAT DAN MORFOLOGI WOOD PLASTIC COMPOSITE

Andreas Sahat Parsaulian¹⁾, Bahrudin²⁾ dan Zuchra Helwani²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru Kode Pos 28293

email: andreastekim@yahoo.com

ABSTRACT

Reduced forest makes the availability of woods as the construction material on the wane. Oil palm frond has a potential to use to decrease utilization of woods directly. The main objective of this study was to evaluate the effect of oxalic acid and thermal pretreatment to morphology and properties of oil palm frond based wood plastic composite (WPC). The temperature of pretreatment were varied at 100°C, 120°C, and 140°C with submersion time 15 minutes. The mass ratio of oil palm frond sized 100 – 200 mesh as filler and polypropylene as a matrix is 30:70. 2% paraffin as plasticizer and 5% maleic anhydride polypropylene as compatibilizer were use as an additive. WPC samples were prepared using internal mixer Labo Plastomill at temperature 180°C and rotor speed 80 rpm. Testing experiments were prepared to mechanical testing consist of tensile and flexural strength and physical testing consist of density, water absorption, and swelling thickness. Scanning Electron Microscopy was used as a morphology testing. The result showed that oxalic acid pretreatment significantly gives an effect to mechanical and physical properties. The best WPC in this study was treated in the 120°C using oxalic acid based on tensile strength with 23.785 MPa, flexural strength 43.2 MPa, density 0.975 gr/cm³, water absorption 1.44%, and swelling thickness 0.17%.

Keywords: pretreatment, oil palm frond, wood plastic composite

I PENDAHULUAN

Setiap tahun jumlah penduduk semakin meningkat dikarenakan jumlah kelahiran lebih besar daripada kematian. Menurut BPS (2010), jumlah penduduk Indonesia telah mencapai 237 juta. Peningkatan jumlah penduduk berbanding lurus dengan jumlah kebutuhan seperti sandang, pangan, dan juga papan. Tidak hanya itu saja, areal hutan semakin berkurang untuk tempat pemukiman penduduk. Berkurangnya areal hutan membuat ketersediaan kayu sebagai bahan konstruksi semakin berkurang. Keadaan ini menuntut untuk menggunakan kayu secara efektif serta efisien dan bahkan mendorong untuk mencari material lain selain kayu.

Pada beberapa dekade terakhir di Amerika Serikat telah dikembangkan *Wood Plastic Composite* (WPC) yang merupakan jenis kelompok material terbaru (Schip dan Wolcott, 2006). WPC dapat mengurangi

penggunaan kayu secara langsung dengan cara mencampurkan *fiber/filler* (serat kenaf, sisal, jerami, dll) dengan termoplastik seperti *polyethylene*, *polypropylene*, dan *poly vinyl chloride* (PVC) (Najafi, dkk., 2007).

Material WPC yang sudah dikembangkan secara komersial umumnya berbasis kayu pinus dan jenis lainnya yang berserat tinggi. Penggunaan pelepah sawit sebagai bahan WPC belum banyak dikembangkan karena mutu kayunya yang relatif rendah. Limbah pelepah sawit cenderung di bakar menghasilkan abu untuk pupuk tanaman atau ditumpuk diantara pohon sawit sehingga belum bisa memberikan keuntungan yang ekonomis. Ditinjau dari komposisinya, limbah pelepah sawit mempunyai potensi yang cukup besar untuk diolah lebih lanjut (Ronggur, dkk., 2012).

Keunggulan WPC antara lain biaya produksi relatif murah, bahan baku melimpah,

fleksibel dalam proses pembuatan, kerapatan rendah, mudah terurai (dibanding plastik), memiliki sifat-sifat yang lebih baik dibandingkan bahan baku asalnya, dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan, serta produknya dapat didaur ulang (*recycleable*). Namun sifat WPC juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pemilihan bahan baku, formulasi, teknik pembuatan, dan parameter proses.

Penggunaan asam oksalat dapat menurunkan sifat higroskopis pelepah sawit dengan mengurangi kadar hemiselulosa tanpa menyebabkan degradasi selulosa (Kenealy, dkk., 2007; Winandy, dkk., 2008; Li, dkk., 2011). Degradasi gugus *amorphous* menggunakan asam yang terdapat pada hemiselulosa, lignin, maupun zat ekstraktif menyebabkan selulosa memiliki ikatan yang lebih baik dengan polipropilen sebagai matriks pada saat pencampuran. Ikatan yang baik menyebabkan sifat fisik dan mekanik akan meningkat.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh preparasi asam oksalat dan suhu pada pelepah sawit terhadap sifat dan morfologi WPC. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan material WPC berbasis pelepah sawit.

II METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah partikel pelepah sawit sebagai *filler* berukuran 100 – 200 mesh yang diperoleh dari perkebunan sekitar Universitas Riau yang telah berumur 5 – 10 tahun; Polipropilen (PP) Copolymer produksi The Polyolefin Company (Singapore) Pte. Ltd. sebagai matriks; *Polypropylene-graft-maleic anhydride* (MAPP) produksi Aldrich Chemistry, USA sebagai kompatibiliser, dan plastisizer jenis Parafin dibeli di pasar lokal.

2.2 Alat

Peralatan yang digunakan untuk pencampuran bahan pembuat WPC yaitu *internal mixer* Labo Plastomill. Untuk pembentukan dan pemotongan lembaran digunakan *Hot Press* dan *dumpbell*. Peralatan

yang digunakan untuk menguji spesimen meliputi: *Universal Testing Machine* Zwickroell tipe Z020 untuk uji kuat tarik dengan standar pengujian SNI ISO 37 : 2010; Uji kuat lentur menggunakan *Universal Testing Strength* (UTM) tipe Orientec Co. Ltd, Model UCT-5T dengan standar pengujian ASTM D790; dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe JSM-6510 A Series untuk pengamatan morfologi.

2.3 Prosedur Penelitian

Penyiapan Partikel Pelepah Sawit.

Pelepah sawit yang telah dibersihkan kulitnya diperkecil menjadi serbuk/serat. Selanjutnya direndam menggunakan asam oksalat atau air pada suhu kamar, 100°C, 120°C, 140°C selama 15 menit. Pelepah yang telah direndam kemudian dikeringkan selama 24 jam di bawah panas matahari. Setelah dikeringkan, serat pelepah sawit digiling dan disaring untuk memperoleh ukuran 100 – 200 mesh.

Pembuatan Sampel WPC

Sampel WPC dibuat dengan mencampurkan partikel pelepah sawit, polipropilen, MAPP, dan parafin ke dalam *internal mixer* pada suhu 170°C dan laju rotor 80 rpm. Hasil pencampuran berupa kompon yang selanjutnya akan dibentuk menjadi specimen uji. Tahapan proses pencampuran dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Tahapan Proses Pencampuran Material ke Dalam *Internal Mixer*

Aktivitas	Menit ke
Pelelehan PP	0
Penambahan parafin	20
Penambahan partikel pelepah sawit	25
Penambahan MAPP	35
Penghentian proses pencampuran	50

Pembuatan spesimen uji dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pembuatan lembaran WPC menggunakan *hot press* pada suhu 180°C dengan tekanan 100kgf/cm² selama 10 menit. Lembaran yang dihasilkan dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam untuk mencapai distribusi kadar air yang seragam

dan melepaskan tegangan sisa akibat pengempaan. Kemudian lembaran dipotong menggunakan *dumbbell* sesuai dengan spesimen uji.

2.4 Pengujian Sampel

Pengujian terbagi atas 3 yaitu pengujian sifat mekanik, sifat fisik, dan morfologi.

Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi *tensile strength* dan *flexural strength*. Spesimen pada pengujian *tensile strength* sebanyak 4 buah spesimen pada semua sampel. Spesimen diletakan pada penjepit alat UTM kemudian ditarik hingga spesimen putus dan dicatat nilai uji kuat tariknya. Sedangkan pengujian *flexural strength* hanya dilakukan pada sampel yang memiliki *tensile strength* tertinggi. Spesimen di letakkan pada alat UTM namun dengan metode berbeda, kemudian sampel ditekan dan diukur kuat lenturnya.

Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik meliputi uji kerapatan, daya serap air, dan pengembangan tebal yang dapat dihitung dengan persamaan 1, 2, dan 3. Masing masing sampel dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm sebanyak 3 spesimen dan ditimbang sebagai berat awal.

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{berat (gram)}}{\text{volume (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

$$\% \text{ Daya serap air} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

$$\% \text{ Pengembangan tebal} = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

W_1 = berat sampel kering (gram)

W_2 = berat setelah direndam air (gram)

D_1 = tebal sampel kering (cm)

D_2 = tebal setelah direndam air (cm)

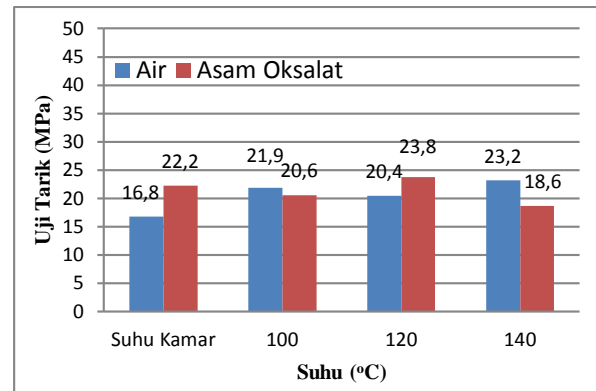
Pengujian Morfologi (SEM)

Pengujian dilakukan untuk melihat pencampuran *interface* dan ikatan bahan *filler* ke dalam matrik. Sampel direndam dalam nitrogen cair selama ± 2 menit, lalu dipatahkan dan dilapisi emas (*coating* emas) agar sampel bersifat konduktor.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sifat Mekanik

Sifat mekanik menunjukkan kekuatan sampel Wood Plastic Composite (WPC) Dalam menahan gaya luar yang diberikan. Hasil analisis uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Pengaruh Jenis Preparasi Terhadap Kuat Tarik dengan Variasi Suhu

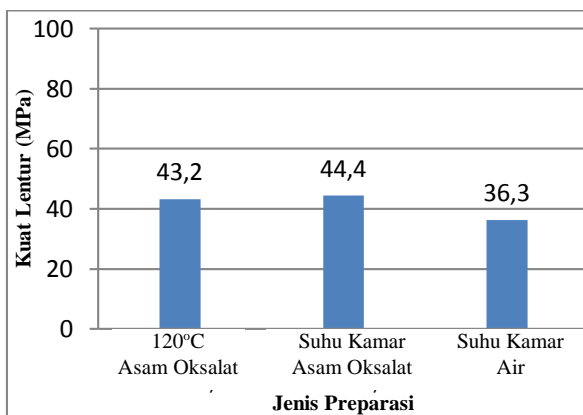
Gambar 3.1 menunjukkan hasil pengujian kuat tarik bervariasi yang berkisar antara 16.83 MPa dan 23.79 MPa. Nilai tertinggi kuat tarik terdapat pada sampel WPC menggunakan preparasi asam oksalat pada suhu 120°C dengan standar deviasi 2.2. Sedangkan untuk nilai terendah kuat tarik terdapat pada sampel WPC menggunakan preparasi air pada suhu 140°C dengan standar deviasi 2.74.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa suhu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tarik sama halnya seperti penelitian yang dilakukan oleh Ayrilmis, dkk., (2008). Namun jenis preparasi memberikan pengaruh yang berbeda. Penggunaan asam oksalat justru memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tarik. Penggunaan asam oksalat dapat menurunkan sifat higroskopis pelepah sawit dengan mengurangi kadar hemiselulosa tanpa menyebabkan degradasi selulosa. Menurut Moon, dkk (2011), larutan asam dapat mendegradasi struktur *amorphous* yang terdapat pada hemiselulosa, lignin maupun zat ekstraktif. Menurunnya kadar hemiselulosa dapat meningkatkan ikatan antara selulosa dan polipropilen sebagai matriks sehingga

menyebabkan kuat tarik setelah preparasi lebih tinggi dibandingkan dengan sebelum preparasi.

Selain menggunakan preparasi asam oksalat, penggunaan kompatibiliser memiliki dampak positif terhadap penyebaran *filler* dan matriks (Li, dkk., 2007; Bahrudin, dkk., 2007; Bhaskar, dkk., 2012). MAPP dapat membantu meningkatkan interaksi antara *filler* dan matriks. Gugus *maleat anhydrate* yang polar mengikat komponen selulosa yang juga polar dan bagian polipropilen yang non polar mudah larut dalam matriks PP yang juga non polar (Bahrudin, dkk., 2011).

Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa nilai rata rata dari pengujian kuat lentur dari sampel WPC berbasis pelepah sawit berkisar antara 36.3 MPa – 44.4 MPa. Nilai tertinggi kuat lentur diambil berdasarkan sampel yang memiliki kuat tarik tertinggi yaitu pada sampel WPC menggunakan preparasi asam oksalat pada suhu 120°C. Sedangkan untuk nilai terendah kuat lentur terdapat pada sampel WPC menggunakan preparasi air pada suhu kamar.



Gambar 3.2 Pengaruh Jenis Preparasi Terhadap Kuat Lentur dengan Variasi Suhu

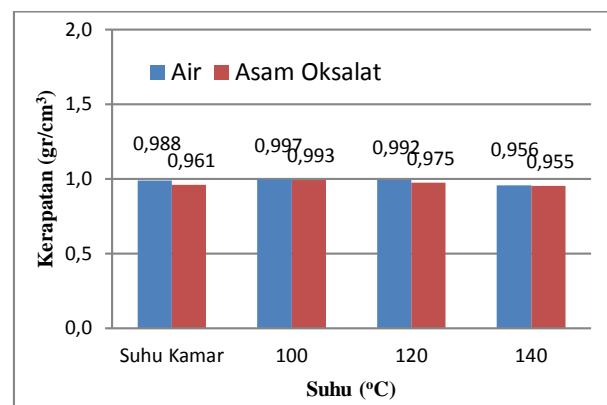
Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa suhu preparasi tidak memiliki pengaruh yang signifikan namun jenis preparasi justru memberikan pengaruh terhadap kuat lentur. Kuat lentur meningkat 22 % setelah dilakukan preparasi menggunakan asam oksalat pada suhu kamar. Sama halnya dengan kuat tarik, penggunaan asam oksalat dapat menurunkan sifat higroskopis pada pelepah sawit.

Menurut Li, dkk. (2007) akibat rendahnya ikatan antar muka antara *filler* bersifat hidofilik dengan matriks bersifat hidrofobik maka modifikasi secara kimia dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kekuatan antar muka. Degradasi gugus *amorphous* menggunakan asam yang terdapat pada hemiselulosa, lignin, maupun zat ekstraktif menyebabkan selulosa memiliki ikatan yang lebih baik dengan polipropilen sebagai matriks pada saat pencampuran. Ikatan yang baik menyebabkan kuat lentur akan meningkat.

Penggunaan MAPP sebagai kompatibiliser pada penelitian ini juga memberikan dampak positif. Gugus *maleat anhydrate* yang polar mengikat komponen selulosa yang juga polar dan bagian PP yang non polar mudah larut dalam matriks PP yang juga non polar.

3.2 Sifat Fisik

Sifat fisik berfungsi untuk melihat perubahan sifat WPC yang diproyeksikan terhadap pengaruh cuaca seperti daya serap air, kerapatan, dan pengembangan tebal. Gambar 3.3 menunjukkan nilai rata rata kerapatan material WPC bervariasi yang berkisar antara 0.955 – 0.997 gr/cm³. Nilai tertinggi kerapatan terdapat pada sampel WPC menggunakan preparasi air pada suhu 100°C dengan standar deviasi 0.0185. Sedangkan untuk nilai terendah kuat tarik terdapat pada sampel WPC menggunakan preparasi air pada suhu 140°C dengan standar deviasi 0.017.



Gambar 3.3 Pengaruh Jenis Preparasi Terhadap Kerapatan dengan Variasi Suhu

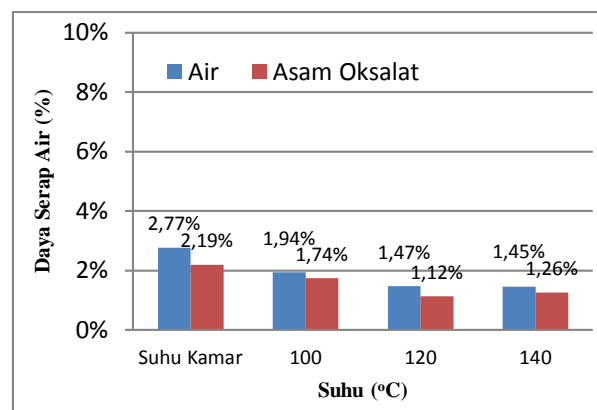
Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa jenis preparasi maupun suhu tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai kerapatan. Kerapatan sampel WPC dipengaruhi oleh berat jenis kayu yang digunakan, jumlah partikel kayu, kadar perekat, dan besarnya tekanan kempa yang diberikan (Bowyer, dkk., 2003). Rowell, (1994) juga menyatakan bahwa nilai standar untuk kerapatan dipengaruhi oleh ukuran partikel, ketebalan serta jumlah partikel. Secara fisik partikel pelepah sawit pada penelitian ini sesudah dilakukan preparasi asam oksalat lebih mudah terdispersi di udara daripada preparasi menggunakan air. Hal tersebut mengindikasikan bahwa berat partikel pelepah sawit preparasi asam oksalat lebih ringan daripada menggunakan preparasi air. Semakin rendah berat partikel menyebabkan partikel tersebut tidak menyebar secara merata pada proses pencampuran sehingga menyebabkan kerapatan juga semakin menurun.

Kerapatan yang rendah menunjukkan bahwa terdapat pori-pori matriks PP yang belum terisi oleh *filler* partikel pelepah sawit. Pori-pori tersebut akan menjadi sumber terjadinya oksidasi WPC (Klyosov, 2007). Hasil penelitian yang dilakukan Chen, dkk. (2006) adalah ukuran partikel memberikan pengaruh terhadap kerapatan komposit. Komposit yang dibuat dengan ukuran partikel yang lebih besar cenderung memiliki pori-pori yang besar sedangkan partikel kecil menyebabkan komposit lebih padat. Ukuran partikel yang kecil menyebabkan penyebaran yang lebih homogen antara *filler* dan matriks (Febrianto, dkk., 2006; Bahrudin, dkk., 2011).

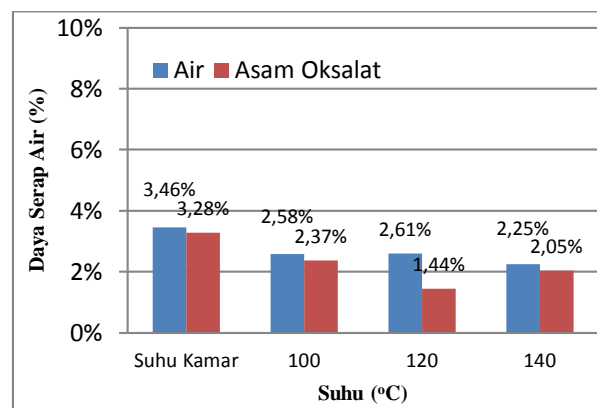
Lignoselulosa memiliki sifat hidrofilik sedangkan polipropilen memiliki sifat hidrofobik. Bahan-bahan yang mempunyai perbedaan polaritas akan sulit bercampur tanpa penambahan kompatibiliser yang sesuai (Han, dkk., 1989). Penggunaan kompatibiliser memiliki dampak positif terhadap penyebaran *filler* dan matriks. Cabang anhidrat MAPP bereaksi dengan komponen hidroksil pada permukaan lignoselulosa. Kemudian cabang PP pada MAPP bersambung dengan polimer termoplastik yaitu polipropilen (PP). Bila

dibandingkan dengan standar ASTM D792 yang mensyaratkan nilai kerapatan material WPC 0,4 – 1,0 gr/cm³. Maka, nilai kerapatan pada penelitian ini telah memenuhi standar ASTM D792.

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa rata-rata nilai daya serap air sampel WPC berbasis pelepah sawit selama 2 dan 24 jam. Secara umum daya serap air meningkat selama 2 jam dan 24 jam. Kelemahan partikel kayu adalah sifat higroskopisnya dengan stabilitas dimensi yang tidak stabil sehingga mudah menyerap air dari lingkungan sekitar.



(a)



(b)

Gambar 3.4 Pengaruh Jenis Preparasi Terhadap Daya Serap Air dengan Variasi Suhu

(a) 2 Jam

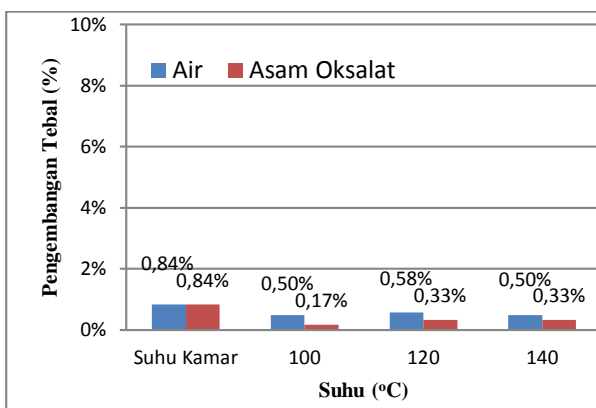
(b) 24 Jam

Penggunaan asam oksalat dapat menurunkan sifat higroskopis pelepah sawit dengan mengurangi kadar hemiselulosa tanpa menyebabkan degradasi selulosa. Tidak hanya itu saja Moon, dkk (2011) juga menyatakan bahwa larutan asam dapat mendegradasi

struktur *amorphous* yang terdapat pada hemiselulosa, lignin maupun zat ekstraktif

Daya serap yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antar 1.44% - 3.46%. Bila dibandingkan dengan standar ASTM D1037 yang menetapkan nilai daya serap air adalah 0,8 %. Maka, nilai daya serap air pada penelitian ini belum memenuhi standar. Karena polipropilen bersifat tidak menyerap air maka partikel pelepah sawit yang dapat berkontak langsung dengan air saja yang dapat menyerap air. Kondisi operasi seperti kecepatan rotor mungkin menjadi penyebab kadar air yang cukup tinggi karena partikel pelepah sawit tidak terdistribusi secara sempurna pada saat pencampuran menggunakan *internal mixer*.

Gambar 3.5 menunjukkan bahwa rata rata nilai pengembangan tebal sampel WPC berbasis pelepah sawit berkisar antara 0.17 – 0.84 %. Nilai rata rata tertinggi pengembangan tebal terdapat pada preparasi air pada suhu kamar sedangkan nilai terendah terdapat pada preparasi asam oksalat ada suhu 100°C.



Gambar 3.5 Pengaruh Jenis Preparasi Terhadap Pengembangan Tebal Air dengan Variasi Suhu

Pengembangan tebal berbanding lurus dengan daya serap air. Semakin besar daya serap air maka pengembangan tebal juga akan semakin meningkat namun tetap tergantung pada jenis materialnya. Apabila dibandingkan dengan jenis preparasi, suhu tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai pengembangan tebal.

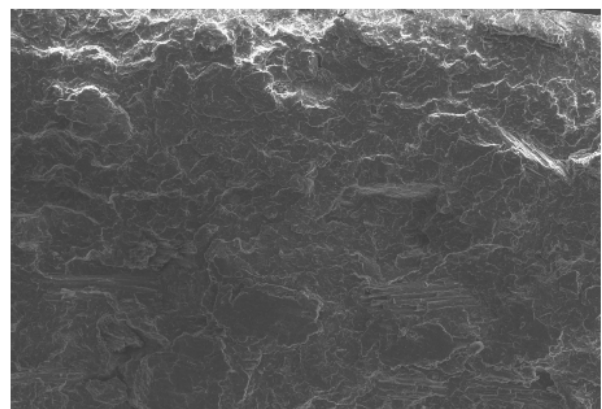
Menurut Iswanto (2005), sifat pengembangan tebal papan partikel

merupakan salah satu sifat fisik yang akan menentukan kelayakan komposit digunakan sebagai bahan interior. Apabila pengembangan tebal suatu papan komposit tinggi berarti stabilitas dimensti tersebut rendah, sehingga produk tersebut tidak dapat digunakan untuk keperluan eksterior dan sifat mekanisnya akan menurun dalam jangka waktu yang tidak lama.

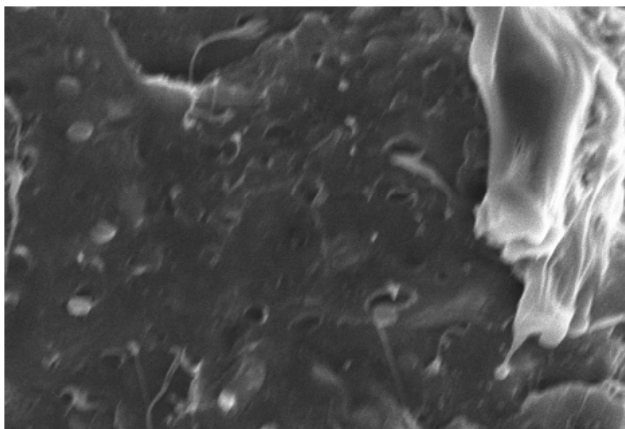
ASTM D1037 yang mensyaratkan nilai pengembangan tebal material WPC maksimum adalah 1%. Nilai tertinggi pengembangan tebal yang diperoleh pada penelitian ini adalah 0.84 % maka telah memenuhi standar tersebut.

3.3 Sifat Morfologi

Uji morfologi dilakukan untuk melihat distribusi, interaksi partikel dan ruang kosong antara *filler* dan matriks. Sebaran *filler* kedalam *matrix* ditinjau dengan perbesaran 100 kali sedangkan untuk melihat interaksi antara keduanya digunakan perbesaran 5000 kali. Pengujian morfologi dilakukan pada kuat tarik tertinggi dan terendah. Kuat tarik tertinggi terdapat pada suhu 120°C menggunakan preparasi asam oksalat yang dapat dilihat pada Gambar 3.6. Sedangkan kuat tarik terendah pada kondisi proses suhu ruangan menggunakan preparasi air yang dapat dilihat pada Gambar 3.7.



(a)

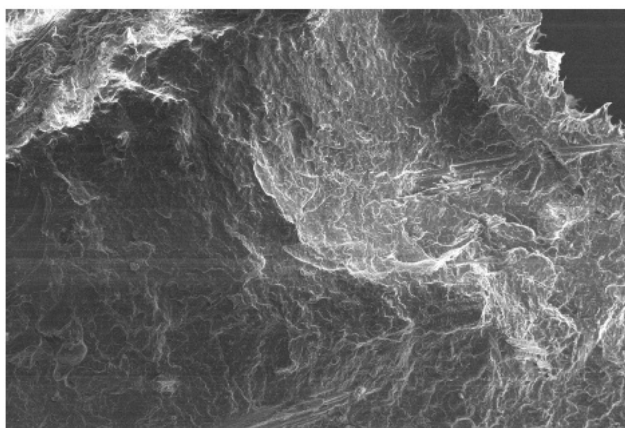


(b)

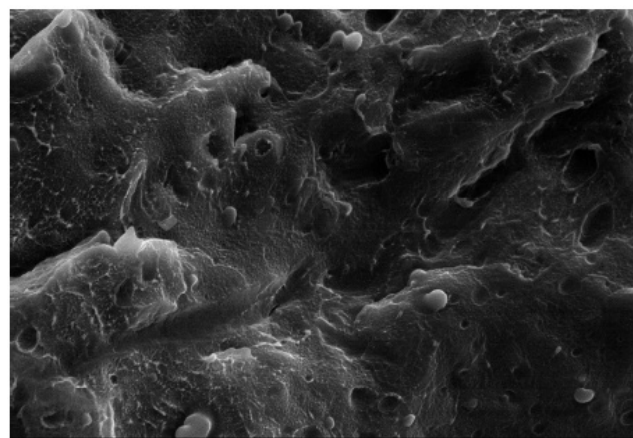
Gambar 3.6 Bentuk Morfologi WPC dengan Kuat Tarik Tertinggi

- (a) Distribusi Partikel
- (b) Interaksi Partikel

Gambar 3.6 dan 3.7 menunjukkan pengaruh preparasi terhadap morfologi komposit melalui uji SEM yang dilakukan pada permukaan patahan komposit. Penyebaran pada gambar 3.6a yang menggunakan preparasi asam oksalat terlihat lebih merata daripada Gambar 3.7a menggunakan preparasi air sebagai kontrol. Penyebaran dipengaruhi oleh interaksi ikatan permukaan antara *filler* dan matriks. Tidak hanya itu saja ukuran partikel memiliki peran. Ukuran partikel yang kecil lebih memudahkan distribusi pada matriks.



(a)



(b)

Gambar 3.7 Bentuk Morfologi WPC dengan Kuat Tarik Terendah.

- (a) Distribusi Partikel
- (b) Interaksi Partikel

Apabila ditinjau dari Gambar 3.6b dan 3.7b, masih terlihat ruang yang kosong diantaranya yang kemungkinan partikel pelepah sawit terlepas setelah dilakukan pematangan sampel. Namun dilihat dari besar dan jumlah ruang kosong, Gambar 3.6b lebih baik daripada Gambar 3.7b.

Tingginya komponen selulosa akan menyebabkan lebih banyak cabang yang berikatan dengan matriks. Penggunaan MAPP juga dapat membantu matriks dan filler saling berikatan. Faktor lain yang dapat memicu ruang kosong adalah pada proses pencampuran menggunakan *internal mixer* tidak tercampur secara merata karena belum mencapai kondisi operasi yang sesuai.

IV KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa preparasi asam oksalat memberikan pengaruh terhadap sifat dan morfologi material WPC yang dihasilkan. Sedangkan perubahan suhu tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Material dengan sifat mekanik dan fisik terbaik menggunakan preparasi asam oksalat pada suhu 120°C yaitu memiliki kuat tarik 23.785 MPa, kuat lentur 43.2 MPa, kerapatan 0.975 gr/cm³, daya serap air 1.44%, dan pengembangan tebal 0.17%.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lili Saktiani, Mery Christina, ST, Muchlis Ade Putra, Nurul A. T. yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Ayrilmis, N., T. L. Laufenberg, dan J. E. Winandy. 2008. *Dimensional Stability and Creep Behaviour of Heat-Treated Exterior Medium Density Fiberboard*. Europe Journal Wood Production
- Badan Pusat Statistik. 2010. *Penduduk Indonesia Menurut Provinsi*.
- Bahrudin, Irdoni, I. Zahrina, dan Zulfansyah. 2011. *Studi Pembuatan Material Wood Plastic Composite Berbasis Limbah Pelepah sawit*. Jurnal Teknobiologi, Volume 2, No.1:77–84
- Bhaskar J., S. Haq, dan A. K. Pandoy, dan N. Srivastava. 2013. *Evaluation of Properties of Propylene-pine Wood Plastic Composite*. Journal Material Environment Science 3(3): 605 – 612
- Bowyer, J. L., R. Shmulsky, dan J. G. Haygreen. 2003. *Forest Products and Wood Science an Introduction*. Ed. Ke-4. Ames, Iowa: Iowa State Press
- Chen, H. C., T. Y. Chen, dan C. H. Hsu. 2006. *Effects of Wood Particle Size and Mixing Ratios of HDPE on The Properties of The Composites*. Holz als Roh-und Werkstoff, No. 64:172-17
- Febrianto, F., D. Setyawati, M. Karina, E. S. Bakar, dan Y. S. Hadi. 2006. *Influence of Wood Flour and Modifier Contents on the Physical and Mechanical Properties of Wood Flour-Recycle Polypropylene Composites*. Journal of Biological Science 6(2): 337-343
- Han, G. S., H. Ichinose, S. Takase, dan N. Shiraishi. 1989. *Composites of Wood and Polypropylene III*. Mokuzai Gakkaishi 35(12): 1100 – 1104
- Kenealy, W., E. Horn, dan C. Houtman. 2007. *Vapor-Phase Diethyl Oxalate Pretreatment of Wood Chips: Part 1. Energy Savings and Improved Pulps*. Holzforschung, Vol. 61, pp. 223–229
- Klyosov, A., A. 2007. *Wood-Plastic Composites*. A John Wiley and Sons, Inc., Publication.
- Li, X. L., G. Tabil, dan S. Panigrahi. 2007. *Chemical Treatment of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: a Review*. Journal Polymer Environment, No. 15:25-33.
- Li, X. Z. Chai, E. Horn, dan J. Winandy. 2011. *Effects of Oxalic Acid Pretreatment of Wood Chips on Manufacturing Medium Density Fiberboard*. Holzforschung Vol. 65:737-741
- Moon, R. J., A. Martini, J. Nairn, J. Simonsen, dan J. Youngblood. 2011. *Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites*. Chemical Society Reviews. Volume 40, No. 7: 3941 – 3994
- Najafi, S. K., M. Tajvidi, dan E. Hamidina. 2007. *Effect of Temperature, Plastic Type and Virginity on The Water Uptake of Sawdust/Plastic Composite*. Holz Roh Werkst No. 65:377-382.
- Ronggur, J., Padil, dan Sunarno., 2012. *Kinetika Reaksi Proses Nitrasi Limbah Pelepah Sawit*. Laboratorium Kimia Organik. Universitas Riau.
- Rowell, R. M. 1994. *Chemical of Solid Wood*. Subtitled by Suhaimi Muhammed and Halimathon Hj. Manshor. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka
- Schrip, A. dan M. P. Wolcott. 2006. *Fungal Degradation of Wood-Plastic Composite and Evaluation Using Dynamic Mechanical Analysis*. Journal of Applied Polymer Science, Volume 99: 3138-3146.
- Winandy, J. E. N. M. Stark, dan E. Horn. 2008. *Wood-Plastic Composites Using Thermomechanical Pulp Made From Oxalic Acid-Pretreated Red Pine Chips*. 7th Global WPC and Natural Fibre Composites Congress and Exhibition, Kassel, Germany